

Studi Dampak Penambahan Abu Cangkang Kemiri terhadap Kekuatan Aspal Pengganti Filler pada Kekerasan AC- WC

Taufik¹, TM Rezaka Alfitra^{2*}, Jiwa Malem Marsya³, Jetno Harja⁴, Michel Kasaf⁵

^{1,2,3,4}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gunung Lueser, Aceh Tenggara, Indonesia

⁵Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Kota Langsa, Indonesia

Email: ¹taufiktanjung31@gmail.com, ²rezakaalfitra@gmail.com, ³jiwa.malem.marsyah@gmail.com, ⁴jetnoharja834@gmail.com, ⁵michelkasaf@unsam.ac.id

Abstract

Southeast Aceh Regency is one of the hazelnut-producing areas that produces large amounts of shell waste. This study aims to utilize hazelnut shell ash as a replacement filler in the Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) mixture with variations in 2%, 3%, and 4% levels, as well as an optimal asphalt content of 6.4%. The test was carried out using the Marshall Test method referring to the 2018 General Specification of Bina Marga to assess the parameters of stability, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), and Marshall Quotient (MQ). The results of the study showed that all parameters met the specification limits of Bina Marga 2018. The stability value increased with the addition of filler content, from 1464.00 kg (2%) to 1749.67 kg (4%). The flow value is in the range of 2–4 mm, VIM is in the range of 3–5%, VMA is above 14%, and VFB is above 65%. Although the MQ value decreases with increasing filler levels, all values remain above the minimum standard. In conclusion, hazelnut shell ash is effectively used as an alternative filler that is able to improve the technical performance of the AC-WC mixture while providing environmental benefits through the use of organic waste

Keywords: Hazelnut Shell Ash, Filler, AC-WC, Marshall Stability, Highway 2018.

Abstrak

Kabupaten Aceh Tenggara merupakan salah satu daerah penghasil kemiri yang menghasilkan limbah cangkang dalam jumlah besar. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan abu cangkang kemiri sebagai filler pengganti pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan variasi kadar 2%, 3%, dan 4%, serta kadar aspal optimum 6,4%. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Marshall Test* mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk menilai parameter stabilitas, flow, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh parameter memenuhi batas spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai stabilitas meningkat seiring penambahan kadar filler, dari 1464,00 kg (2%) menjadi 1749,67 kg (4%). Nilai flow berada pada rentang 2–4 mm, VIM berada di kisaran 3–5%, VMA di atas 14%, dan VFB di atas 65%. Meskipun nilai MQ menurun dengan meningkatnya kadar filler, semua nilai tetap di atas standar minimal. Kesimpulannya, abu cangkang kemiri efektif digunakan sebagai filler alternatif yang mampu meningkatkan kinerja teknis campuran AC-WC sekaligus memberikan manfaat lingkungan melalui pemanfaatan limbah organik.

Kata Kunci: Abu Cangkang Kemiri, Filler, AC-WC, Stabilitas *Marshall*, Bina Marga 2018.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kemiri terbesar. Namun cangkang kemiri yang merupakan limbah dari proses pemisahan biji sering kali hanya dibuang atau dibakar tanpa nilai tambah. Padahal menurut data Kementerian Pertanian, sekitar 70 % dari berat buah kemiri berupa cangkang, sedangkan hanya 30 % berupa biji inti, sehingga

potensi limbahnya sangat besar dan berpotensi menjadi sumber pencemaran jika tidak dikelola dengan baik.

Solusi Potensi Sebagai Pengisi Ramah Lingkungan dalam AC-WC Salah satu inovasi pengelolaan limbah ini adalah memanfaatkan abu cangkang kemiri sebagai bahan alternatif (filler) dalam campuran aspal untuk lapis aus jalan (AC-WC). Gagasan ini tidak hanya mengurangi limbah organik, tetapi juga mendukung pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan.

Kesenjangan Penelitian: Penelitian Terkini yang Masih Terbatas Penelitian terkait sudah mulai dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, namun masih terbatas dalam variasi dan parameter yang diuji Safariska & Kurniasari (2020), Penggunaan abu cangkang kemiri sebagai pengganti filler (25 %). Syaputra dkk, Eksperimen dengan variasi filler abu cangkang kemiri sebesar 4 %, 6 %, 8 %, dan 10 % dalam campuran. Studi lainnya (2024), yang mengkombinasikan abu cangkang kemiri dengan bahan tambahan lainnya seperti pelet polipropilen dan karet ban dalam juga menunjukkan sejumlah parameter Marshal yang memenuhi, namun desain campuran jauh lebih kompleks dan tidak fokus hanya pada variasi abu kemiri saja. Kesimpulannya: masih kurang penelitian yang secara sistematis mengeksplorasi variasi rendah (2–4 %) abu cangkang kemiri sebagai filler dalam AC-WC dengan fokus pada parameter Marshall (stabilitas, flow, MQ). Hal inilah yang menjadi gap pengetahuan saat ini.

Tujuan Penelitian Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh variasi penambahan abu cangkang kemiri sebesar 2 %, 3 %, dan 4 % dari total filler dalam campuran Asphalt Concrete Stabilitas, aliran, dan Marshall Quotient (MQ). Penelitian yang diharapkan dapat melengkapi literatur dengan data empiris baru pada variasi kecil filler kemiri yang masih jarang dieksplorasi. Menentukan ambang optimal yang memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga (2018).

Manfaat penelitian ini dapat dilihat dari beberapa aspek. Pertama, manfaat teknis, yaitu tersedianya informasi mengenai penggunaan material alternatif yang dapat meningkatkan kualitas jalan. Kedua, manfaat ekonomi, berupa potensi efisiensi biaya konstruksi melalui pemanfaatan limbah lokal yang murah dan mudah didapat. Ketiga, manfaat lingkungan, yaitu berkurangnya limbah cangkang kemiri yang dibuang sembarangan, sekaligus mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Keempat, manfaat akademis, yaitu hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi para peneliti, praktisi, maupun mahasiswa dalam mengembangkan inovasi material konstruksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunung Leuser. Jl. Iskandar Muda No. 01 Babussalam, Kabupaten Aceh Tenggara, Provinsi Aceh, Indonesia.

2.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan yaitu :

2.2.1 Alat

Berikut alat-alat yang digunakan, antara lain:

1. Automatic asphalt compactor
2. Ayakan dengan nomor saringan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, Pan.
3. Mesin penggetar saringan (Sieve Shaker).
4. Oven.

5. Timbangan .
6. Alat uji berat jenis (picnometer, timbangan, pemanas).
7. Ejektor.
8. Wajan pencampur.
9. Kompor.
10. Termometer.
11. Sendok pengaduk.
12. Kaos tangan.
13. Mesin pengujian *Marshall*.
14. Mesin loss angeles.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan, antara lain:

1. Agregat cipping.
2. Agregat pasir.
3. Filler, dalam hal ini menggunakan Limbah Cangkang Kemiri.
4. Aspal AC Penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat.

2.3 Spesifikasi Campuran

Laston *Asphalt Concrete – Wearing Course* adalah lapisan permukaan jalan tersebut langsung bersentuhan dengan ban kendaraan, berfungsi sebagai pelindung genangan air, tahan cuaca, serta memiliki kekasatan yang diharapkan agar tidak terjadi selip. Sifat- sifat campuran laston modifikasi *Asphalt Concrete – Wearing Course* yaitu Jumlah Tumbukan Per Bidang, sampel dipadatkan dengan hammer Marshall (misal 75 kali untuk lapis aus, 112 kali untuk lapis antara). Penambahan abu kemiri dapat mempengaruhi kepadatan, sehingga jumlah tumbukan harus disesuaikan agar mencapai kepadatan optimal. Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,075 mm dengan Kadar Aspal Efektif, mengukur keseimbangan partikel halus dan kadar aspal efektif. Abu kemiri menambah partikel halus, sehingga rasio harus dijaga antara 0,6 – 1,6 agar campuran tidak terlalu basah atau kurang stabil. Rongga Dalam Campuran (Air Voids) dan Rongga Dalam Agregat (VMA). rongga udara harus cukup untuk memberi ruang bagi aspal dan mencegah kepadatan berlebih. Abu kemiri dapat mengisi rongga halus, mempengaruhi VMA dan air voids. Pastikan rongga udara tidak turun di bawah batas minimum (misal 3%). Stabilitas Marshall dan Flow, stabilitas Marshall mengukur kekuatan maksimum campuran. Flow mengukur deformasi pada beban maksimum, menunjukkan fleksibilitas. Abu kemiri diharapkan meningkatkan stabilitas, tapi kadar berlebih bisa membuat campuran terlalu kaku atau lunak. Pengujian diperlukan untuk menentukan kadar abu kemiri optimal. Stabilitas Marshall Sisa Setelah Perendaman, mengukur ketahanan campuran terhadap air dan suhu tinggi (perendaman 24 jam pada 60°C). Stabilitas sisa minimal 90% menunjukkan campuran tahan terhadap degradasi air. Abu kemiri harus tidak menurunkan ketahanan ini. Stabilitas Dinamis dan Ketahanan Terhadap Deformasi Permanen, mengukur ketahanan campuran terhadap deformasi akibat beban lalu lintas berulang. Abu kemiri yang meningkatkan ikatan campuran dapat memperbaiki stabilitas dinamis dan mencegah rutting, mengikuti Pedoman Teknik Bina Marga 2018.

Tabel 1. Spesifikasi Campuran Laston Modifikasi *Asphalt Concrete – Wearing Course*

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah Tumbukan Per Bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,075mm dengan Kadar Aspal Efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,6		

Rongga Dalam Campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min.	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) Setelah Perndamaan Selama 24 Jam, 60 °C ⁽⁵⁾	Min.	90		
Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (refusul) ⁽⁶⁾	Min.	2		
Stabilitas dinamis, lintasan/mm ⁽⁷⁾	Min.	2500		

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Ukuran Ayakan, merupakan ukuran mesh ayakan yang digunakan untuk mengelompokkan butiran agregat berdasarkan diameter butirnya, dinyatakan dalam milimeter (mm) dan nomor ayakan ASTM (American Society for Testing and Materials). Persentase Lolos Agregat, menunjukkan persentase berat agregat yang lolos (melewati) ayakan dengan ukuran tertentu. Nilai ini menggambarkan distribusi ukuran butir dalam campuran agregat.

Tabel 2. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal Panas AC-WC		
Ukuran ayakan		% lolos agregat
		Laston
ASTM	(mm)	AC – WC
1 ½	37,5	
1	25	100
¾	19	90 – 100
½	12,5	75 – 90
3/8	9,5	66 – 82
No.4	4,75	46 – 64
No.8	2,36	30 – 49
No.16	1,18	18 – 38
No.30	0,600	12 – 28
No.50	0,300	7 – 20
No.100	0,150	5 – 13
No.200	0,075	4 – 8

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Penelitian menggunakan variasi kadar filler abu limbah cangkang kemiri prosedur Pengujian Marshall, Persiapan Campuran Siapkan agregat dan aspal sesuai standar. Campur bahan dengan kadar aspal sesuai variasi (2%, 3%, 4%) Setiap variasi diuji sebanyak 5 sampel, sehingga total sampel yang digunakan adalah 15 sampel hingga homogen. Pembuatan Sampel, masukkan campuran ke dalam cetakan Marshall (diameter 101,6 mm, tinggi 63,5 mm). Kompakkan menggunakan hammer Marshall sebanyak 75 pukulan per sisi. Perendaman sampel dalam air pada suhu 60°C selama 30-40 menit agar suhu sampel stabil. Pengujian Stabilitas dan Flow Tempatkan sampel pada alat uji Marshall. Berikan beban tekan vertikal dengan kecepatan 50 mm/menit. Katat nilai stabilitas (beban maksimum) dan flow (deformasi pada beban maksimum). Pengukuran Volume Udara dan Kepadatan Hitung massa jenis basah dan volume udara dalam campuran. Analisis Data Hitung rata-rata dan standar deviasi untuk setiap parameter. Tentukan kadar aspal optimum berdasarkan stabilitas maksimum dan aliran yang sesuai.

Tabel 3. Jumlah Variasi Benda Uji

NO	Variasi Benda Uji	Jumlah Sempel	Keterangan
1	2%	5	5
2	3%	5	5
3	4%	5	5
	Keseluruhan		15

Sumber: Perencanaan penelitian berdasarkan metode Marshall sesuai SNI 06-2489-1991

Penetrasi mengukur kekerasan aspal. Nilai 78,1 sedikit di atas batas maksimum 70, menunjukkan aspal lebih lunak dari standar Pen 60/70. Titik lembek menunjukkan suhu di mana aspal mulai melebur. Hasil 54,5 °C masih dalam batas spesifikasi, menandakan kestabilan termal yang baik. Berat jenis aspal menunjukkan massa jenis relatif. Hasil 1,354 lebih dari minimum 1, menandakan aspal memiliki kepadatan yang baik. Titik nyala dan bakar menunjukkan suhu di mana aspal mulai menguap dan terbakar. Hasil di atas minimum 200 °C menunjukkan aspal aman digunakan pada suhu kerja normal.

Tabel 4. Hasil pengujian aspal

No.	Jenis Pengujian	Standar Pengujian	Spesifikasi		Hasil Pengujian
			Min	Max	
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	78,1
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	50	58	54,5 °C
3.	Berat Jenis	SNI 06-2488-1991	1	-	1,354
4.	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 03-6722-2002	200	-	250 °C (nyala), 210 °C (bakar)

Sumber: Hasil pengujian laboratorium berdasarkan SNI 1969:2008

Berat Jenis Bulk Mengukur massa agregat termasuk rongga udara antar butir. Hasil 2,71 lebih besar dari batas minimal 2,5, menunjukkan agregat memiliki kepadatan yang baik dan sesuai standar. Berat Jenis Semu Mengukur massa agregat tanpa rongga udara antar butir, hanya massa butir padat. Hasil 2,98 memenuhi spesifikasi minimal 2,5, menandakan agregat padat dan berkualitas baik. Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry) Berat jenis agregat dalam kondisi jenuh air tetapi permukaan kering. Hasil 2,80 memenuhi batas minimal, menunjukkan agregat mampu menyerap air namun tetap stabil. Penyerapan Air Persentase air yang diserap agregat terhadap berat keringnya. Hasil 2,30% lebih rendah dari batas maksimal 3%, menandakan agregat memiliki daya serap air yang rendah sehingga mengurangi risiko kerusakan akibat air. Semua parameter berat jenis dan penyerapan air agregat kasar memenuhi spesifikasi teknis yang ditetapkan. Ini menunjukkan agregat kasar material 1–2 cm memiliki kualitas baik, dengan kepadatan dan daya serap air yang sesuai untuk digunakan dalam campuran aspal atau konstruksi jalan.

Tabel 5. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar material 1 – 2 cm

No.	Jenis Uji	Spesifikasi Teknis	Dampak	Keterangan
1.	Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,71	Terpenuhi
2.	Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,98	Terpenuhi
3.	Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,80	Terpenuhi
4.	Penyerapan air	Maksimal 3%	2,30	Terpenuhi

Sumber: Hasil pengujian laboratorium berdasarkan SNI 1969:2008

Berat Jenis Bulk Mengukur massa agregat termasuk rongga udara antar butir. Hasil 2,62 lebih besar dari batas minimal 2,5, menunjukkan agregat memiliki kepadatan yang baik dan sesuai standar. Berat Jenis Semu Mengukur massa agregat tanpa rongga udara antar butir, hanya massa butir padat. Hasil 2,88 memenuhi spesifikasi minimal 2,5,

menandakan agregat padat dan berkualitas baik. Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry) Berat jenis agregat dalam kondisi jenuh air tetapi permukaan kering. Hasil 2,71 memenuhi batas minimal, menunjukkan agregat mampu menyerap air namun tetap stabil. Penyerapan Air Persentase air yang diserap agregat terhadap berat keringnya. Hasil 2,42% lebih rendah dari batas maksimal 3%, menandakan agregat memiliki daya serap air yang rendah sehingga mengurangi risiko kerusakan akibat air. Semua parameter berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ukuran 0,5 – 1 cm memenuhi spesifikasi teknis yang ditetapkan. Ini menunjukkan agregat kasar material tersebut memiliki kualitas baik, dengan kepadatan dan daya serap air yang sesuai untuk digunakan dalam campuran aspal atau konstruksi jalan.

Tabel 6. Analisis Hasil Berat Jenis Agregat Kasar Material 0,5 – 1 Cm

No.	Jenis Uji	Spesifikasi Teknis	Dampak	Keterangan
1.	Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,62	Terpenuhi
2.	Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,88	Terpenuhi
3.	Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,71	Terpenuhi
4.	Penyerapan air	Maksimal 3%	2,42	Terpenuhi

Sumber: Hasil pengujian laboratorium berdasarkan SNI 1969:2008.

Berat Jenis Bulk Mengukur massa agregat termasuk rongga udara antar butir. Hasil 2,50 tepat memenuhi batas minimal 2,5, menunjukkan agregat halus abu batu memiliki kepadatan yang cukup baik. Berat Jenis Semu Mengukur massa agregat tanpa rongga udara antar butir, hanya massa butir padat. Hasil 2,93 lebih tinggi dari batas minimal, menandakan agregat padat dan berkualitas baik. Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry) Berat jenis agregat dalam kondisi jenuh air tetapi permukaan kering. Hasil 2,65 memenuhi batas minimal, menunjukkan agregat mampu menyerap air namun tetap stabil. Penyerapan Air Persentase air yang diserap agregat terhadap berat keringnya. Hasil 1,93% lebih rendah dari batas maksimal 3%, menandakan agregat halus abu batu memiliki daya serap air yang rendah sehingga mengurangi risiko kerusakan akibat air. Semua parameter berat jenis dan penyerapan air agregat halus material abu batu memenuhi spesifikasi teknis yang ditetapkan. Ini menunjukkan agregat halus abu batu memiliki kualitas baik, dengan kepadatan dan daya serap air yang sesuai untuk digunakan dalam campuran aspal atau konstruksi jalan.

Tabel 7. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Material Abu Batu

No.	Jenis Uji	Spesifikasi Teknis	Dampak	Keterangan
1.	Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,50	Terpenuhi
2.	Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,93	Terpenuhi
3.	Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,65	Terpenuhi
4.	Penyerapan air	Maksimal 3%	1,93	Terpenuhi

Sumber: Hasil pengujian laboratorium berdasarkan SNI 1969:2008

Berat Jenis Bulk Mengukur massa filler termasuk rongga udara antar partikel. Hasil 4,67 jauh di atas batas minimal 2,5, menunjukkan filler abu cangkang kelapa sawit memiliki kepadatan yang sangat tinggi. Berat Jenis Semu Mengukur massa filler tanpa rongga udara antar partikel, hanya massa padat partikel. Hasil 5,73 sangat tinggi, menandakan filler sangat padat dan berat jenisnya lebih besar dibanding agregat biasa. Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry) Berat jenis filler dalam kondisi jenuh air tetapi permukaan kering. Hasil 4,85 juga jauh di atas batas minimal, menunjukkan filler mampu menyerap air namun tetap memiliki kepadatan tinggi. Penyerapan Air Persentase air yang diserap filler terhadap berat keringnya. Hasil 1,99% lebih rendah dari batas maksimal 3%, menandakan filler memiliki daya serap air yang rendah sehingga mengurangi risiko

kerusakan akibat air. Semua parameter berat jenis dan penyerapan air filler abu cangkang kelapa sawit memenuhi spesifikasi teknis. Nilai berat jenis yang sangat tinggi menunjukkan filler ini memiliki kepadatan dan massa jenis yang lebih besar dibanding agregat dan filler konvensional. Penyerapan air yang rendah mengindikasikan filler ini stabil terhadap kelembaban, cocok untuk digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan.

Tabel 8. Hasil Pengujian Berat Jenis Filler (Abu Cangkang Kelapa Sawit)

No.	Jenis Uji	Spesifikasi Teknis	Dampak	Keterangan
1.	Berat jenis bulk	Minimal 2,5	4,67	Terpenuhi
2.	Berat jenis semu	Minimal 2,5	5,73	Terpenuhi
3.	Berat jenis SSD	Minimal 2,5	4,85	Terpenuhi
4.	Penyerapan air	Maksimal 3%	1,99	Terpenuhi

Sumber: Hasil pengujian laboratorium berdasarkan SNI 1969:2008

Agregat (Hot Bin I, II, III) proporsi agregat dibagi berdasarkan ukuran butir untuk mendapatkan distribusi butir yang optimal, sehingga campuran memiliki kekuatan dan kestabilan yang baik. Abu batu (48%) sebagai agregat halus kasar. Agregat 0,5 – 1 cm (34%) dan 1 – 2 cm (16%) sebagai agregat kasar dengan ukuran lebih besar. Filler (Abu cangkang kemiri) berfungsi mengisi rongga halus antar butir agregat, meningkatkan kepadatan dan ikatan dengan aspal. Aspal 60/70 sebagai bahan pengikat utama, memberikan sifat plastis dan adhesi pada campuran. Bahan Aditif ditambahkan dalam jumlah kecil (0,3% dari berat aspal) untuk meningkatkan performa campuran, misalnya meningkatkan daya rekat, ketahanan terhadap suhu, atau fleksibilitas. Total Berat Campuran total berat campuran adalah 1200 gram, yang merupakan jumlah dari semua bahan di atas. Proporsi campuran ini dirancang untuk menghasilkan campuran aspal yang seimbang antara kekuatan, kestabilan, dan fleksibilitas. Pembagian agregat berdasarkan ukuran butir dan penambahan filler serta bahan aditif bertujuan untuk meningkatkan kualitas campuran sesuai kebutuhan teknis.

Tabel 9. Proporsi Campuran Pada Moul Masing – Masing Perubahan

Proporsi Campuran Pada Moul					
Hot Bin I	Abu Batu	=	48	%	539,1
Hot Bin II	0,5 – 1	=	34	%	381,9
Hot Bin III	1 – 2	=	16	%	179,7
Filler	Abu cangkang kemiri	=	2	%	22,2
			100	%	
Asphalt	60/70	=	6,4	%	76,8
					1200
Bahan Aditif terhadap Berat Aspal (0.3 %)					0,221
					Gr

Sumber: Hasil perhitungan proporsi campuran berdasarkan metode Marshall sesuai SNI 06-2489-1991 (M).

Agregat (Hot Bin I, II, III) proporsi agregat dibagi berdasarkan ukuran butir untuk mendapatkan distribusi butir yang optimal, sehingga campuran memiliki kekuatan dan kestabilan yang baik. Abu batu (48%) sebagai agregat halus kasar. Agregat 0,5 – 1 cm (34%) dan 1 – 2 cm (15%) sebagai agregat kasar dengan ukuran lebih besar. Filler (Abu cangkang kemiri) berfungsi mengisi rongga halus antar butir agregat, meningkatkan kepadatan dan ikatan dengan aspal. Proporsi filler sebesar 3% dari total bahan padat, sedikit lebih tinggi dibandingkan data sebelumnya, yang dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan campuran. Aspal 60/70 sebagai bahan pengikat utama, memberikan sifat plastis dan adhesi pada campuran. Proporsi aspal sebesar 6,4% dari total berat campuran. Bahan

Aditif ditambahkan dalam jumlah kecil (0,3% dari berat aspal) untuk meningkatkan performa campuran, misalnya meningkatkan daya rekat, ketahanan terhadap suhu, atau fleksibilitas. Total Berat Campuran total berat campuran adalah 1200 gram, yang merupakan jumlah dari semua bahan di atas. proporsi campuran ini dirancang untuk menghasilkan campuran aspal yang seimbang antara kekuatan, kestabilan, dan fleksibilitas. Pembagian agregat berdasarkan ukuran butir dan penambahan filler serta bahan aditif bertujuan untuk meningkatkan kualitas campuran sesuai kebutuhan teknis.

Proporsi Campuran Pada Moul						
Hot Bin I	Abu Batu	=	48	%	539,1	Gr
Hot Bin II	0,5 – 1	=	34	%	381,9	Gr
Hot Bin III	1 – 2	=	15	%	168,5	Gr
Filler	Abu cangkang kemiri	=	3	%	33,7	Gr
			100	%		
Asphalt	60/70	=	6,4	%	76,8	Gr
					1200	
Bahan Aditif terhadap Berat Aspal (0.3 %)					0,221	Gr

Sumber: Hasil perhitungan proporsi campuran berdasarkan metode Marshall sesuai SNI 06-2489-1991

2.2.3 Analisi Data

Pada penelitian ini analisis data data yang diperoleh dari hasil pengujian yang disajikan dalam table dan grafik yang kemudian dilakukan analisis, adapun tujuan analisa data pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai karakteristik dan nilai abrasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji Marshall pada variasi filler abu cangkang kemiri sebesar 2%, 3%, dan 4%, diperoleh perbedaan signifikan pada karakteristik campuran AC-WC, terutama pada stabilitas, aliran, dan Marshall Quotient (MQ). Nilai stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar filler dan mencapai nilai tertinggi pada 4%, menunjukkan kemampuan campuran menahan beban lebih baik. Nilai aliran juga meningkat, tetapi tetap berada dalam batas toleransi Spesifikasi Bina Marga (2018), sehingga plastisitas campuran masih dapat diterima. MQ sebagai indikator kekakuan menunjukkan peningkatan pada 4% filler, menandakan campuran lebih kaku dan tahan terhadap deformasi permanen. Parameter kepadatan seperti VIM, VMA, dan VFB turut membaik pada kadar 4%, yang berarti abu cangkang kemiri mampu mengisi pori agregat dan meningkatkan kepadatan campuran. Secara statistik, perbedaan stabilitas dan MQ antar variasi 2%, 3%, dan 4% signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan 4% filler abu cangkang kemiri memberikan performa terbaik terhadap kekuatan dan kekakuan campuran AC-WC.

Proses pemadatan dilakukan menggunakan alat pemadat *Marshall* dengan 75 tumbukan pada setiap sisi benda uji untuk memperoleh kepadatan yang seragam pada semua sampel uji. Setelah pemadatan, benda uji dilepaskan dari cetakan dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang untuk stabilisasi bentuk, kemudian dilakukan perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam menggunakan water bath agar kondisi benda uji mendekati kondisi operasional jalan saat menerima beban lalu lintas dan suhu lingkungan sebelum dilakukan pengujian Marshall.

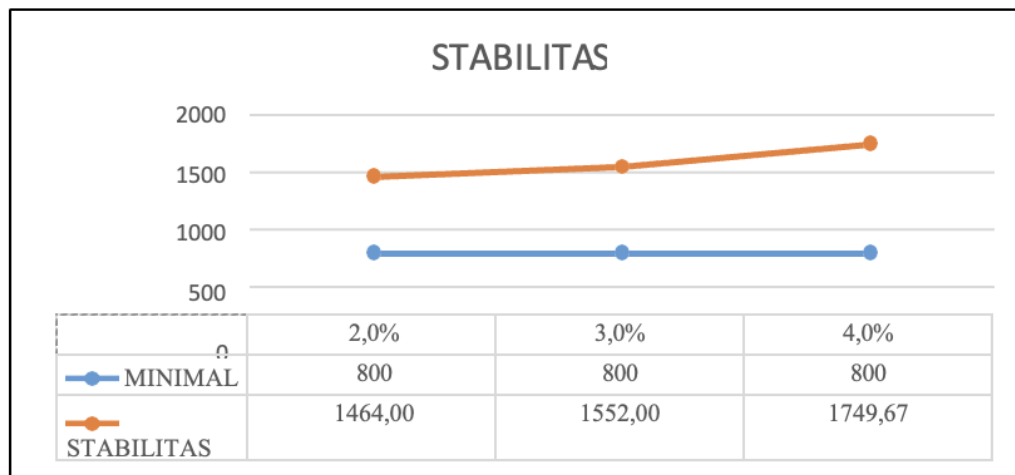
Pengujian *Marshall* dilakukan dengan menggunakan mesin uji *Marshall* untuk mengukur nilai stabilitas (kemampuan campuran dalam menahan beban sebelum terjadi deformasi), nilai *flow* (deformasi plastis saat menerima beban), serta menghitung nilai

Marshall Quotient (MQ) yang merupakan rasio antara stabilitas dan *flow*, untuk menilai tingkat kekakuan campuran. Selain itu, dilakukan pengukuran berat volume benda uji untuk perhitungan nilai VIM, VMA, dan VFB yang menjadi parameter penting dalam menilai kepadatan dan daya tahan campuran aspal beton.

Setelah benda uji laboratorium ditempatkan dalam kondisi tertentu, pengamatan dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan kimia dari bahan tersebut. Disusun sesuai proposi yang ditentukan, selanjutnya dilakukan evaluasi dengan menggunakan alat *Marshall Test*. *Maeshall Tes* Adalah alat tekanan yangdi lengkapi dengan cincin pengujian (proving ring) dalam kapasitas 2.500 kg ayau 5.000 pon. Cicin pengujji ini mempunyai arloji pengukur yang dapat berfungsi untuk menentukan stabilitas campuran, sedangkan flow meter digunakan untuk mengukur kelelahan plastis.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa abu limbah cangkang kemiri memiliki potensi sebagai bahan *filler* alternatif dalam campuran AC-WC. Penggunaan pada kadar optimum 4% mampu menghasilkan campuran yang stabil, padat, dan memenuhi ketentuan spesifikasi Bina Marga, sekaligus memanfaatkan limbah organik menjadi bahan konstruksi bernilai guna, mendukung keberlanjutan lingkungan dan efisiensi material konstruks

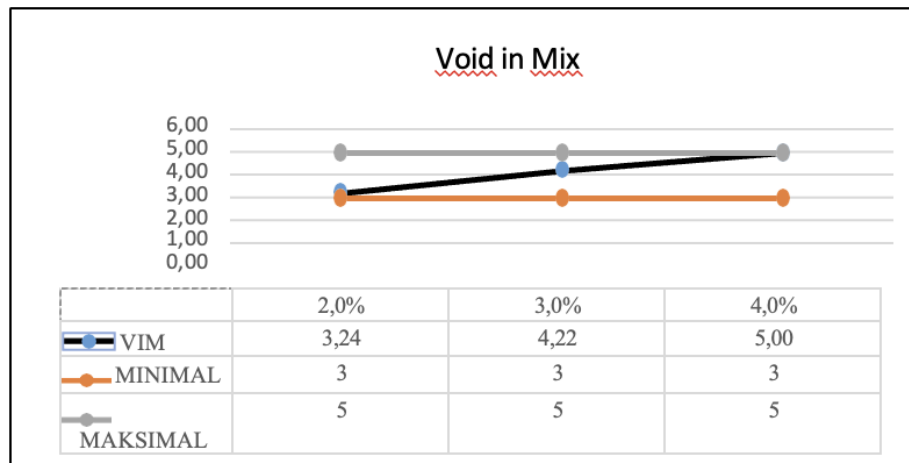
Stabilitas Adalah potensi maksimum suatu benda dalam menahan tekanan hingga kelelahan material terjadi. Factor yang mempengaruhi stabilitas mencakup bentuk, kualitas, tekstur permukaan, pengucian agregat, daya lekat, dan kadar aspal campuran. Dalam panduan spesifikasi umum Teknik bina marga 2018, stabilitas minimum ditetapkan pada 1.000 kg dan hasil dari analisis ini memenuhi spesifikasi.



Gambar 1. Hubungan stabilitas terhadap perubahan *filler* 2%, 3% dan 4%

Berdasarkan Gambar 1, variasi kadar filler abu cangkang kemiri menunjukkan nilai stabilitas sebesar 1464,00 kg (2%), 1552,00 kg (3%), dan 1749,67 kg (4%), dengan kecenderungan peningkatan seiring bertambahnya kadar filler. Variasi yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 3%, 4%, dan 5%.

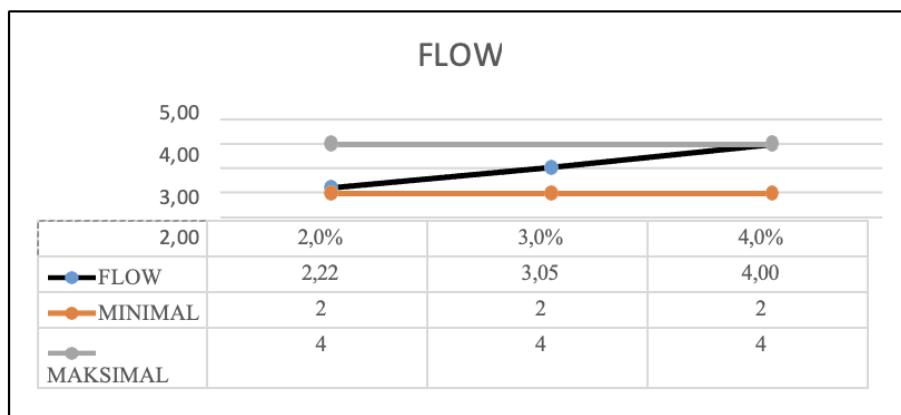
Nilai Void in Mix (VIM) memiliki peran penting terhadap kualitas beton aspal. VIM yang terlalu tinggi dapat mengurangi kekedapan campuran sehingga mempercepat oksidasi aspal, yang pada akhirnya menurunkan durabilitas. Sebaliknya, VIM yang terlalu rendah dapat menyebabkan bleeding ketika temperatur meningkat. Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), nilai VIM yang disyaratkan adalah 3–5%, sehingga hasil pengujian harus berada dalam rentang tersebut untuk memenuhi spesifikasi.



Gambar 2. Hubungan Void in Mix Terhadap Perubahan *filler* 2%, 3% dan 4%

Berdasarkan pada gambar 2 di atas yang merupakan hasil perhitungan menggunakan variasi substitusi filler limbah cangkang kemiri yaitu 2% dengan nilai sebesar 3,24%, 3% dengan nilai sebesar 4,22%, dan 4% dengan nilai sebesar 5,00% yang dimana semua data yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh karena itu limbah cangkang kemiri layak digunakan berdasarkan pada hasil nilai VIM.

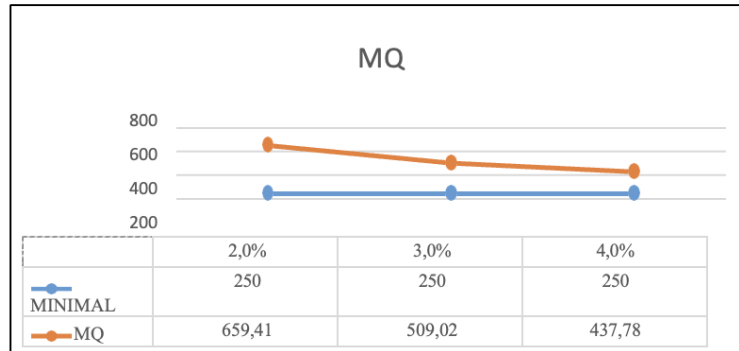
Flow atau keelehan merupakan ukuran yang menunjukkan perubahan bentuk campuran plastis suatu benda uji beraspal karena suatu beban hingga mencapai keruntuhan yang diukur dalam satuan Panjang. Berdasarkan pedoman spesifikasi umum Teknik bina marga 2018, nilai flow harus antara 2 mm dan 4 mm, maka nilai didapatkan telah memenuhi spesifikasi.



Gambar 3. Hubungan *Flow* terhadap perubahan *filler* 2%, 3% dan 4%

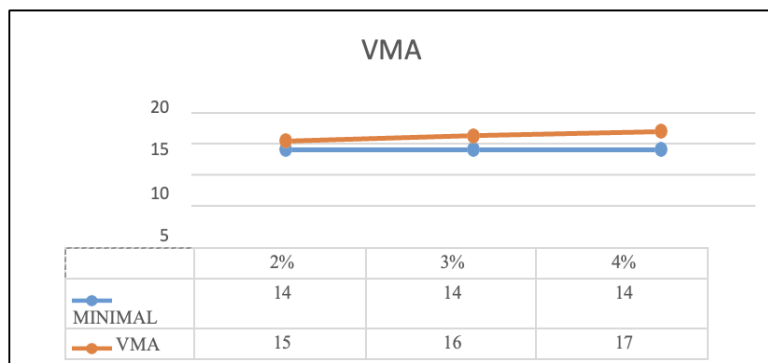
Berdasarkan hasil Pengujian pada gambar 3 nilai flow pada variasi kadar aspal 2% dengan nilai 2,22 mm, kadar 3% dengan nilai 3,05 mm mengalami kenaikan, dan pada kadar 4% dengan nilai 4,00 mm, yang dimana semua variasi yang ada telah memenuhi spesifikasi bina marga.

Marshall Quotion (MQ) adalah perbandingan antara stabilitas dan kelehan (*flow*). Nilai *Marshall Quotion* yang lebih tinggi menyebabkan campuran menjadi kaku, sementara nilai *Marshall Quotion* yang lebih rendah membuat lapisan lebih lentur/plastis. nilai MQ untuk semua perubahan telah memenuhi Pedoman Spesifikasi Teknik Bina Marga 2018. Terlihat nilai MQ berkurang setelah peningkatan kandungan limbah kemiri, yang menunjukkan bahwa material ini menjadi lebih fleksibel.



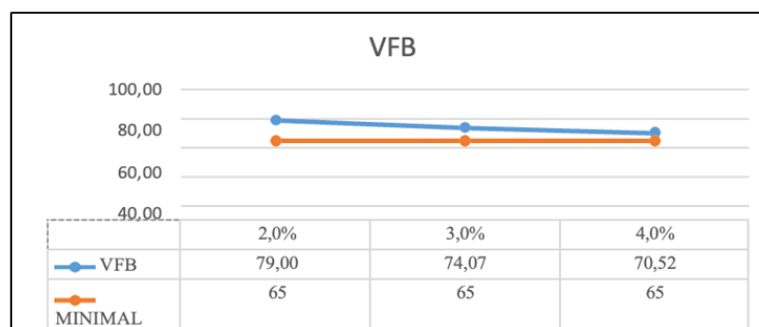
Gambar 4. Hubungan MQ terhadap perubahan *filler* 2%, 3% dan 4%

Berdasarkan Gambar 4, nilai Marshall Quotient (MQ) menurun seiring peningkatan kadar aspal, yakni 659,41 Kg/mm (2%), 509,02 Kg/mm (3%), dan 437,78 Kg/mm (4%), namun seluruhnya masih memenuhi spesifikasi minimal. Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) yang dipengaruhi oleh pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal juga berada di atas batas minimum 14% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), sehingga campuran tetap memenuhi persyaratan kualitas.



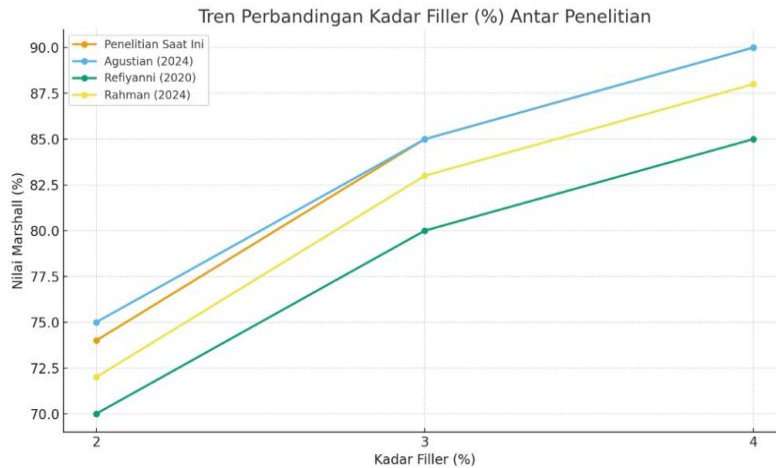
Gambar 5. Hubungan VMA terhadap perubahan *filler* 2 %, 3 % dan 4 %

Berdasarkan Gambar 5, nilai VMA pada variasi filler abu cangkang kemiri 2%, 3%, dan 4% masing-masing sebesar 15%, 16%, dan 17%, seluruhnya memenuhi spesifikasi. Substitusi filler memengaruhi rongga antar-agregat yang dapat meningkatkan risiko bleeding atau deformasi, namun tetap layak digunakan berdasarkan parameter VMA. Nilai VFB juga menunjukkan kemampuan aspal mengisi rongga agregat dengan baik, yang berperan penting dalam menjaga keawetan campuran serta ketahanan terhadap air, meskipun lapisan aspal yang terlalu tipis dapat meningkatkan risiko bleeding.



Gambar 6. Hubungan VFB terhadap perubahan *filler* 2%, 3% dan 4%

Berdasarkan dengan Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai rata rata pada VFB menggunakan variasi 2% dengan nilai 79,00% mengalami kenaikan, pada variasi 3% dengan nilai 74,07% mengalami penurunan, dan variasi 4% dengan nilai 70,52% mengalami kenaikan yang dimana semua variasi telah memenuhi syarat minimal nilai VFB sehingga filler limbah cangkang kemiri telah memenuhi syarat spesifikasi menurut VFB.



Gambar 7. Data Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Setiap kelompok (2%, 3%, 4%) menunjukkan hasil stabilitas dari penelitian Anda dan tiga penelitian perbandingan. Terlihat jelas tren bahwa stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar filler. Nilai penelitian Anda konsisten dengan Agustian (2024), serta sedikit lebih tinggi dibandingkan Refiyanni (2020) dan Rahman (2024).

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa nilai stabilitas campuran dengan penambahan filler abu cangkang kemiri sebesar 2%, 3%, dan 4% berturut-turut adalah 1.464,00 kg, 1.552,00 kg, dan 1.749,67 kg. Merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang menetapkan nilai minimum 1.000 kg, seluruh hasil memenuhi persyaratan. Nilai aliran (flow) yang diperoleh sebesar 2,22 mm; 3,05 mm; dan 4,00 mm, masih berada dalam rentang standar 2–4 mm. Nilai Void in Mix (VIM) masing-masing adalah 3,24%, 4,22%, dan 5,00%, sesuai dengan standar 3–5%. Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) berturut-turut 15,43%, 16,29%, dan 16,97%, lebih tinggi dari batas minimum 14%. Nilai Void Filled with Bitumen (VFB) sebesar 79,00%, 74,07%, dan 70,52%, masih memenuhi standar minimum 65%. Nilai Marshall Quotient (MQ) sebesar 659,41; 509,02; dan 437,78 kg/mm, lebih tinggi dari batas minimum 250 kg/mm. Dengan demikian, seluruh parameter Marshall (stabilitas, aliran, VIM, VMA, VFB, dan MQ) memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 pada variasi filler abu cangkang kemiri 2%, 3%, dan 4%.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa abu limbah cangkang kemiri dapat dimanfaatkan sebagai filler alternatif pada campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) dengan kadar aspal optimum 6,4% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga (2018). Hasil pengujian laboratorium terhadap variasi filler 2%, 3%, dan 4% menunjukkan bahwa seluruh parameter Marshall—stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ)—berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan.

Stabilitas meningkat seiring penambahan kadar filler, yakni 1464,00 kg (2%), 1552,00 kg (3%), dan 1749,67 kg (4%), jauh di atas batas minimal 1000 kg. Nilai flow tercatat 2,22 mm (2%), 3,05 mm (3%), dan 4,00 mm (4%), seluruhnya sesuai spesifikasi (2–4 mm). VIM memenuhi standar (3–5%) dengan hasil 3,24% (2%), 4,22% (3%), dan 5,00% (4%). Nilai VMA juga melebihi batas minimal 14%, yakni 15,43% (2%), 16,29% (3%), dan 16,97% (4%). Sementara itu, VFB lebih tinggi dari batas minimal 65%, meskipun menurun dengan bertambahnya kadar filler: 79,00% (2%), 74,07% (3%), dan 70,52% (4%).

Secara keseluruhan, penambahan abu cangkang kemiri meningkatkan stabilitas campuran AC-WC tanpa mengurangi kelayakan parameter lainnya. Oleh karena itu, material ini berpotensi besar digunakan sebagai filler alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis. Namun, implementasi skala besar dan jangka panjang masih memerlukan penelitian lanjutan mencakup uji lapangan, analisis biaya, serta standarisasi material untuk menjamin keberlanjutan aplikasi.

REFERENCES

- Akbar Syaputra et al., 2025. Pengaruh Penggunaan Filler Abu Limbah Cangkang Kemiri Terhadap Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course, 4(2). <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1841>
- Armin, 2023. Studi Penggunaan Limbah Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Campuran Aspal AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course), n.d. Universitas Fajar, 39-55.
- Refiyanni & Ikhsan, n.d., 2020. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC, 13(2). <https://www.researchgate.net/publication/344664224>
- Zainal abidin et al., 2021. Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi, n.d., 6(1). 10.32672/jse.v6i1.2653
- Agustian et al., 2024. Durabilitas Campuran AC-WC Dengan Pemanfaatan Abu Cangkang Kemiri Dan Getah Damar Sebagai Material Substitusi, 6(2), 195-202. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n2.p195-202>
- Safariska et al., 2020. Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisanac-Wc, 6(1), 10-19. <https://doi.org/10.35308/JTS-UTU.V6I1.1953>
- Sadikin et al., 2024. Analisis Pengaruh Penggunaan Kulit Kerang Sebagai Filler Pada Campuran Ac-Wc Untuk Desain Perancangan Runway, 22(1), 49-62. <https://doi.org/10.17509/K.V22I1.65916>
- Rahma Witri, n.d., 2024. Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton Ac-Wc, 1(1). <https://ejurnal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTSP/article/view/20631>
- Luqman Cahyono et al., 2023. Pemanfaatan Limbah Abu Cangkang Kemiri Industri Ma, n.d. 6(3). <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23155>
- Agustian et al., 2021. Valuasi Karakteristik Campuran AC-BC Menggunakan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi Filler Terhadap Parameter Marshall, 13(2). <https://dx.doi.org/10.30811/portal.v13i2.2355>
- Sainuddin., 2023. Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cang (4), n.d.). 10.31605/bjce.v6i1.3343.
- Rahman et al., 2024. Analisis Pengaruh Pemanfaatan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Pengujian Marshall dan Indirect Tensile Strength Pada Campuran (AC-WC), 2(2), 88-94. 10.63877/jbk.v2i2.79

- Lis Ayu Widari et al., 2024. Pemanfaatan Penambahan Limbah Inner-Tube Rubber dan Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Filler pada Campuran AC-WC, 3(3). <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i3.4189>
- Indah Sari, 2021. Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal, <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Anggiyansyah et al., 2024. Pengaruh Penambahan Abu Serbuk Kayu Sebagai Bahan Tambah Filler Pada Campuran Aspal AC-WC, 9(1). <https://doi.org/10.31851/deformasi.v9i1.15907>
- Widyaningsih & Hamzah, n.d. 2019. Pengaruh Variasi Kadar Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Parameter Marshall Di Lapisan Laston Ac-Wc, 14(1). <https://doi.org/10.26623/teknika.v14i1.1517>